

Adéla Kotoučková: Anaerobní digesce

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut environmentálního inženýrství

**bakalářská práce**

na téma

**ANAEROBNÍ DIGESCE**

**Autor:**

Adéla Kotoučková

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Barbora Lyčková Ph.D.

**Ostrava 2012**

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že celou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, pod dohledem vedoucí práce, tímto bych jí chtěla poděkovat. Uvedla jsem všechny zdroje informací.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.

Beru na vědomí, že vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít.

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce.

**V Ostravě dne 30. 4. 2012**

**Adéla Kotoučková**

**Podpis:** 

**Anotace:**

V předložené práci je vysvětleno, co je to anaerobní digesce, k čemu slouží, jak probíhá, co je třeba dodržet, aby proběhla, kde je možno ji využít apod. V první části je popsáno, jak z hlediska biologického procesu anaerobní digesce probíhá. V druhé části jsou uvedeny technologie a využití anaerobní digesce v praxi. Je zde vysvětleno, proč vlastně musela být anaerobní digesce využívána od roku 1990 ve speciálních zařízeních a to tzv. BPS, ze kterých je produkován digestát a bioplyn. Dále je popsán materiál, který lze pro tento biologický proces využít a jeho zdroje. Dále jsou v práci uvedeny zástupci mikroorganismů, jejichž přítomnost je nezbytná, aby mohl proces anaerobní digesce probíhat. V poslední části práce jsou zhodnoceny klady a zápory BPS a využití anaerobní digesce v praxi.

**Klíčová slova:** anaerobní digesce, biologický proces, BPS, bioplyn, digestát

**Summary:**

The present work describes how to use process of anaerobic digestion. The first part describes how the biological process of anaerobic digestion takes place in theory. It describes the different stages of decomposition. The second section describes the technology and the use of anaerobic digestion in practice. It is explained why it had to be actually used by anaerobic digestion since 1990 in special accessories and the BPS, which is produced from the digestive and biogas. The following describes a material that can be used for the biological process and use its resources. Further, there are shown representative microorganisms, whose presence is necessary to enable the process of anaerobic digestion to take place. In the last part of this work are reviewed pros and cons of biogas anaerobic digestion and utilization in practice.

**Keywords:** anaerobic digestion, biological process, BPS, biogas, digestate

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Teorie anaerobní digesce .....	2
2.1. Fáze anaerobní digesce .....	2
2.1.1. Hydrolýzní fáze .....	2
2.1.2. Acidogenní fáze.....	2
2.1.3. Acetogenní fáze.....	3
2.1.4. Methanogenní fáze .....	3
2.2. Limitující faktory procesu .....	3
2.3. Řízení a stabilita procesu .....	4
2.4. Význam a důležitost některých proměnných.....	4
3. Technologie anaerobní digesce .....	5
3.1. Mikroorganismy provázející proces anaerobní digesce .....	5
3.1.1. Patogenní mikroorganismy ve vstupním materiálu.....	6
3.1.2. Mikroorganismy využívající anaerobní digesci .....	7
3.1.3. Bakterie methanogenní fáze .....	8
3.2. Anaerobní čistírenské technologie.....	9
3.3. Druhy anaerobní digesce podle teploty provázející děj.....	11
3.3.1. Mezofilní anaerobní stabilizace .....	12
3.3.2. Termofilní anaerobní stabilizace .....	12
4. Vstupní materiály.....	13
4.1. Zdroje biomasy .....	13
4.1.1. Zemědělství .....	13
4.1.2. Komunální sféra .....	14
4.1.3. Průmysl, zejména potravinářský .....	14
4.1.4. Stravovací zařízení .....	14
4.2. Vlastnosti vstupních materiálů .....	14
4.3. Odpadní kaly z ČOV .....	15
4.3.1. Vznik odpadních kalů.....	15
4.3.2. Odpadní kaly a jejich zpracování .....	15
4.3.3. Kritéria pro posuzování stabilizovanosti kalů .....	15
4.3.4. Metody hygienizace kalů .....	18
5. Produkty anaerobní digesce .....	18

5.1.	Bioplyn .....	19
5.1.1.	Vlastnosti bioplynu .....	19
5.1.2.	Způsoby využití bioplynu.....	19
5.1.3.	Množství energie z BP .....	20
5.1.4.	Odsíření bioplynu .....	21
5.2.	Biologicky stabilizovaný substrát.....	22
5.2.1.	Využití substrátu .....	22
6.	Využití anaerobní digesce v praxi.....	23
6.1.	Bioplynová stanice (BPS).....	23
6.1.1.	Homogenizační jednotka.....	24
6.1.2.	Pasterizace .....	24
6.1.3.	Fermentor .....	25
6.1.4.	Kogenerační jednotka.....	25
6.1.5.	Vstupní materiály, které využívá BPS ve Velkých Albrechticích .....	26
6.2.	Výroba piva .....	27
7.	Závěr .....	29

**Seznam zkratk:**

ATP – adenosintrifosfát

ČOV – čistírna odpadních vod

BP – bioplyn

BPS – bioplynová stanice

BSK – biologická spotřeba kyslíku

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

MŽP – ministerstvo životního prostředí

NPK – zbylá tekutá frakce s vyšším obsahem živin

OL – organické látky

VL – veškeré látky

VL<sub>org</sub> – veškeré látky organické

ZP – zemní plyn

ZŽ – ztráta žíháním

## 1. Úvod

Název anaerobní digesce se skládá ze dvou slov a to „anaerobní“ – s absencí kyslíku a „digesce“ neboli trávení. Jedná se o přirozený proces rozkladu organických látek, bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Tento proces byl znám již ve středověku. První experimenty využití bioplynu ke svícení údajně prováděl Leonardo da Vinci a vlámský vědec Van Helmont. Za objevitele řízené anaerobní digesce je považován italský fyzik A. Volta. Ten již v roce 1776 provozoval první laboratorní anaerobní fermentaci. První využití bioplynu k ohřevu vody proběhlo v ČOV v nemocnici v Bombay v roce 1897. [10]

K rozvoji anaerobních technologií dochází až ve 20. století a to zejména při anaerobní stabilizaci čistírenských kalů. V roce 1922 ČOV v Essenu předala bioplyn do městské plynárny a v témže roce byl poprvé využit bioplyn k pohonu motorového vozidla. V roce 1937 byly tankovací stanice s bioplynem v osmi německých městech, Itálii a ve Francii. V ČR se využitím bioplynu z methanizačních fermentorů zabývá od roku 1955 Prof. Vladimír Maděra. [10]

V současnosti nastává rozvoj produkce a využití bioplynu na celém světě. Bioplyn je využíván především ke kogeneraci, čili výrobě elektrické energie a tepla, pomocí spalovacího motoru, který je poháněn bioplynem. Tento způsob získávání obnovitelné energie je považován za atraktivní ochranu klimatu. Jedná se o technologii, která pomáhá zajišťovat trvale udržitelný rozvoj života na naší planetě Zemi.[10]

Cílem mé práce je nashromáždit potřebné materiály a informace o anaerobní digesci, jejich produktech, mikroorganismech umožňujících tento druh biotransformace využívat k zneškodnění a energetickému využití různých organických látek. Dalším úkolem je zjistit, jaké materiály je vhodné použít, kde jsou tyto vstupní materiály produkovány, a v grafu znázorním, které materiály mají nejvyšší a které naopak nejnižší výnos bioplynu. V poslední části práce popíši také možnosti využití anaerobní digesce v praxi, jako jsou BPS a kvasné tanky pivovaru Radegast v Nošovicích. BPS jsou velice užitečná zařízení, mají však své klady a zápory, které se budu snažit zhodnotit.

## 2. Teorie anaerobní digesce

Fermentace probíhající bez přístupu volného kyslíku, neboli methanizace, je souborem procesů, které na sebe musí přesně navazovat. Při těchto procesech rozkládá směsná kultura mikroorganismů biologicky rozložitelnou organickou hmotu. Tyto směsné kultury jsou složeny z různých mikroorganismů, které se dělí do skupin. Produkty jedné skupiny jsou substrátem skupiny druhé, proto výpadek jedné skupiny naruší průběh celého procesu anaerobní digesce. [3]

Anaerobní digesce anaerobní fermentace, či anaerobní vyhnívání, je technologie výroby bioplynu, což je jeden ze dvou konečných produktů. Je to ekologický způsob zpracování zbytkové biomasy, při které nedochází ke snížení její hnojivé hodnoty.

Mezi dva produkty patří biologicky stabilizovaný substrát s vysokým hnojivým účinkem a již zmiňovaný bioplyn (BP). [2] Více o produktech v kapitole č. 5 „Produkty anaerobní digesce“

### 2.1. Fáze anaerobní digesce

#### 2.1.1. Hydrolýzní fáze

V této fázi je důležitá přítomnost nikoli methanových bakterií, ale bakterií anaerobních, které přeměňují makromolekulární látky na nízkomolekulární látky. Bakterie k tomu využívají extracelulárních hydrolytických enzymů, které samy produkují. Mezi štěpené makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky patří například bílkoviny, polysacharidy, tuk, celulóza apod. Mezi nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě, které anaerobní bakterie vytvoří v průběhu hydrolýzní fáze patří monosacharidy, aminové kyseliny, mastné kyseliny, voda apod. [1]

#### 2.1.2. Acidogenní fáze

Acidogenní neboli kyselé fáze (acidogeneze), následuje těsně po fázi hydrolýzní. Produkty hydrolýzní fáze jsou vstupními materiály, které jsou v acidogenní části štěpeny na ještě jednodušší organické látky jako jsou kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , apod. Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných produktů. Tyto produkty jsou závislé nejen na charakteru původního substrátu, ale také na podmínkách prostředí za jakých



proces probíhá. Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukováných produktů, které jsou závislé na charakteru původního substrátu a podmínkách prostředí. Například při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány hlavně kyselina octová,  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$  a při vyšším parciálním tlaku vodíku jsou produkovány vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná, ethanol apod. [1]

### 2.1.3. Acetogenní fáze

Probíhá oxidace produktů acidogeneze na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  a kyselinu octovou. Kyselina octová je tvořena acetogenní respirací  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$  homoacetogenními mikroorganismy. Účast těchto mikroorganismů produkujících vodík je nezbytná, protože rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny, které jsou vyšší než octová, alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Jsou zde zastoupeny i minoritní skupiny organismů (sulfátreduktanty, nitrátreduktanty) produkující vedle kyseliny octové a vodíku také sulfan a dusík. Produkty této fáze jsou tedy  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , kyselina octová, sulfan a dusík. [1]

### 2.1.4. Methanogenní fáze

Neboli methanogeneze, je to poslední fáze procesu anaerobní digesce. V této fázi se již nachází methanogenní bakterie, které rozkládají některé jednoduhlíkaté látky jako je methanol, kyselina mravenčí, metylamin,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}$  a kyselinu octovou. Jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. [1] Více o těchto mikroorganismech v kapitole bakterie methanogenní fáze.

## 2.2. Limitující faktory procesu

Každý anaerobní proces je limitován určitými faktory. Tyto faktory je nutné dodržet, aby byla zaručena kvalita průběhu anaerobní digesce.

- teplota procesu – teplotu prostředí volíme v závislosti na kultuře mikroorganismů, které jsou použity pro uskutečnění procesu. Mezofilní teploty jsou využívány nejčastěji (tj. okolo  $35^\circ\text{C}$ ).
- pH – hodnota pH je i v tomto procesu velice důležitá. Mikroorganismy jsou nejčastěji schopny růst v neutrální oblasti okolo 6,5 – 7,5. Může to však být více či méně.

- přítomnost živin potřebný poměr živin se udává jako CHSK N P v rozmezí od 300 : 6,7 : 1. Vedle těchto prvků jsou neméně důležité také stopová množství některých prvků, která nám mohou zvyšovat methanogenní aktivitu např. Na, K, Ca, Se, Ni, Co, atd.
- přítomnost toxických a inhibujících látek – amoniak a mastné kyseliny jsou látky s inhibičními účinky nejčastěji se vyskytující. Mohou ovlivnit nebo zcela zastavit proces. Tvorba mastných kyselin je závislá na pH procesu fermentace. [1]

## 2.3. Řízení a stabilita procesu

**Faktory ovlivňující nestabilitu procesu:**

- změny teploty
- změny v zatížení organickými látkami
- hydraulické přetížení
- expozice toxickými látkami
- změny ve složení zpracovávaného substrátu

Analytickými či biologickými metodami lze zjistit řadu veličin, které nám vypovídají o stavu procesu. Podle účelu využití těchto veličin je dělíme do dvou skupin:

- proměnné pro řízení procesu
- indikátory stavu procesu – diagnostické veličiny

## 2.4. Význam a důležitost některých proměnných

- Produkce bioplynu – popisuje výsledek procesu, nikoli jeho stav.
- Koncentrace  $\text{CH}_4$  – je to bilanční prvek. Jeho koncentrace je důležitá až v konečné fázi. Produkce bioplynu je závislá na přivedeném zatížení.
- Koncentrace  $\text{CO}_2$  – nemá vždy vypovídající hodnotu o stavu stability procesu. Podstatně citlivější je poměr  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ .
- Koncentrace  $\text{H}_2$  – je jedním z nejcitlivějších indikátorů stavu a stabilizace procesu. Když je v bioplynu nalezen vodík, signalizuje to vždy nestabilitu procesu.
- PH procesu – není příliš citlivým indikátorem procesu. Monitorování pH je důležité hlavně u substrátů vykazujících nedostatečnou neutralizační kapacitu.

- Aktivita biomasy – patří mezi diagnostické indikátory. Jsou časově náročné a pracné. Aktivita mikroorganismů se stanovuje jenom v případech selhání procesu nebo jeho nestability, aby byla zjištěna příčina. Těmito testy je možné také zkoumat, do jaké míry lze bioreaktor zatížit. [1]

### 3. Technologie anaerobní digesce

Do zásobníků se navezou organické látky požadované kvality a množství. Laborantky biotechnoložky provedou rozbor a zjistí, kolik materiálu ze kterého zásobníku lze použít, jak je upravit, které materiály smíchat aby proběhla anaerobní digesce co nejintenzivněji. Jakmile jsou biotechnologické rozbor provedeny, musí se materiály upravit na požadovanou vlhkost, obsah sušiny, OL, pH apod. Homogenizují se v homogenizační jednotce, pasterizují v pasterizační jednotce. Vlhkost se snižuje zahušťováním za pomoci odstředivek, usazovacích nádrží. Proces zahušťování urychlí flokulanty a koagulanty. Vznikne surový směsný kal, který putuje do fermentoru, kde proběhne anaerobní stabilizace 1. stupně, potom pomocí přepadu se dostane do fermentoru 2. stupně stabilizace. S těchto dvou fermentorů je jímán bioplyn, který se uchovává ve speciálním zásobníku, a také digestát, neboli anaerobně stabilizovaný substrát.

Celý oběkt pro umožnění využití procesu anaerobní digesce je postaven tak, aby mohl fungovat kontinuálně. Pomáhá to zajišťovat přepad mezi fermentorem pro stabilizaci 1. stupně a fermentorem pro stabilizaci stupně 2. Fermentory se nikdy nevypustí, jen v případě poruchy, např. překyselení obsahu fermentoru, nebo zjištění přítomnosti inhibujících látek. Překyselení může nastat i během několika málo hodin, je proto nutné neustále odebírat vzorky z fermentorů a kontrolovat, zda je obsah v pořádku. Fermentor se v případě překyselení musí vypustit a vyčistit, což může způsobit velké časové ztráty a nadměrné nahromadění vstupních materiálů. [6]

#### 3.1. Mikroorganismy provázející proces anaerobní digesce

Mikroorganismy se dělí z hlediska využívání kyslíku na anaerobní a aerobní. Anaerobní mikroorganismy nevyžadují k rozkladu organických látek kyslík. Naopak aerobní mikroorganismy kyslík potřebují, aby z organické hmoty udělali energii a uhlík.

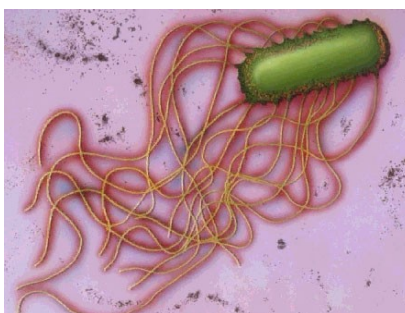
Dále lze dělit mikroorganismy z hlediska fáze procesu anaerobní digesce, ve které naleznou své uplatnění při rozkládání a jaké druhy materiálu zpracovávají a jaké produkty produkují. Jsou to například methanogenní bakterie, které lze dále dělit na acetotrofní a hydrogenotrofní. Acetotrofní rozkládají kyseliny a hydrogenotrofní využívá vodíku. Další skupinou, která se může a měla by se vyskytovat v matanogenní fázi jsou minoritní skupiny mikroorganismů (sulfátreduktanty a nitrátreduktanty). Produkují síru a dusík. [1]

### 3.1.1. Patogenní mikroorganismy ve vstupním materiálu

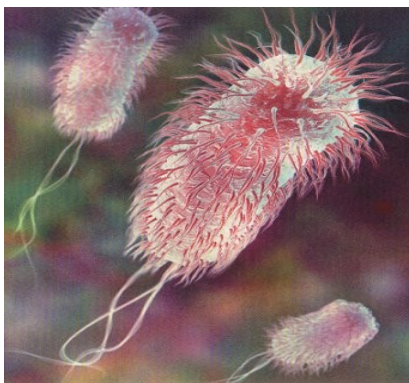
Exkrementy infikovaných lidí a zvířat jsou v čistírenských kalech hlavním zdrojem patogenních mikroorganismů. Mezi patogenní organismy, které se mohou vyskytnout v odpadních vodách, patří zejména viry (hepatitida A viz. obrázek č. 1), bakterie Salmonella (viz obrázek č. 2), Escherichia coli (viz. obrázek č. 3), protozoa (obrázek č. 4) a parazitické červi (viz obrázek č. 5). [1]



Obrázek č. 1: Hepatitida A



Obrázek č. 2: Salmonella



**Obrázek č. 3: Escherichia coli**



**Obrázek č. 4: Protozoa**



**Obrázek č. 5: Hlístice**

### **3.1.2. Mikroorganismy využívající anaerobní digesce**

Z bakterií se nejčastěji vyskytují rody *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *mycobacterium* aj. V menším množství mohou být přítomny také houby, plísňe či kvasinky. Pravidelně bývají přítomny i bakterie nitrifikační *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*. Přítomnost vláknitých mikroorganismů je také normální, ale pokud se přemnoží, způsobí technologické potíže projevující se špatnými usazovacími a zahušťovacími vlastnostmi kalu. Z vyšších organismů jsou pravidelnou součástí aktivovaného kalu různá protozoa, vířníci, hlístice aj. Z prvoků jsou nejvíce zastoupena Peritricha (přibližně 33 %). Prvoci indikují stav aktivovaného kalu. Jsou v něm přítomny, protože v něm nacházejí bohatou stravu. [1]

### 3.1.3. Bakterie methanogenní fáze

Lze je rozdělit na pouze hydrogenotrofní nebo pouze acetotrofní a to podle specifiky substrátu, který rozkládají. Působením acetotrofních methanogenních bakterií, které rozkládají kyselinu octovou na směs methanu a  $\text{CO}_2$ , vzniká více než  $2/3$   $\text{CH}_4$  v bioplynu. Ve srovnání s druhou skupinou pomaleji rostou (generační doba několik dní). Hydrogenotrofní methanogenní bakterie produkují methan z  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$ . Rostou poměrně rychleji, jejich generační doba je cca 6 hodin. V anaerobním procesu působí jako samoregulátor. Odstraňují z procesu vodík, jehož koncentrace by měla být při dobré činnosti organismů minimální. Vodíkem jsou nejvíce ovlivňovány acetogenní bakterie rozkládající kyselinu propionovou a máselnou. Pro tyto organismy je přítomnost hydrogenotrofních organismů životně důležitá. [1]

**Methanové bakterie** – jsou nejdůležitější metabolickou skupinou procesu methanizace. Tyto bakterie převádějí konečné produkty obsahující uhlík do plynné fáze a tím zakončují metabolický řetězec anaerobního rozkladu organických látek.

Methanogenní bakterie ve své buněčné stěně neobsahují murein. Mají charakteristické složení 16S – RNA a unikátní složení lipidů cytoplasmatické membrány. Jsou fylogeneticky příbuzné s nejprimitivnějšími organismy na počátku života na zemi. Vyžadují pro svůj růst nízký redoxní potenciál (okolo 330 mV), protože na počátku života na zemi bylo životní prostředí extrémně redukční.

Na základě tvorby methanu z různých známých substrátů bylo zjištěno, že pomocí těchto bakterií je energeticky nejmiň výhodná reakce tvorby methanu z kyseliny octové. Na rychlost produkce methanu a na růstovou rychlost methanogeneze mají vliv rozdílné energetické výtěžky reakcí. Při růstu na kyselině octové je generační doba methanogenních bakterií 2 až 10 dní. Při růstu na vodíku s oxidem uhličitým je generační doba těchto bakterií 9 až 24 hodin. K inhibici využívání kyseliny octové může dojít v případě přítomnosti energeticky výhodných substrátů s obsahem vodíku a methanolu.

V případě že porovnání kinetickou spotřebu energie kyseliny octové a vodíku zjistíme, že maximální růstová rychlost je 5 – 10 krát vyšší při spotřebě vodíku než kyseliny octové. Afinita ke kyselině octové je asi 10 krát nižší než k vodíku, záleží na druhu methanogenu. [5]

Tabulka č. 1: Specifické substráty methanogenních bakterií [5]

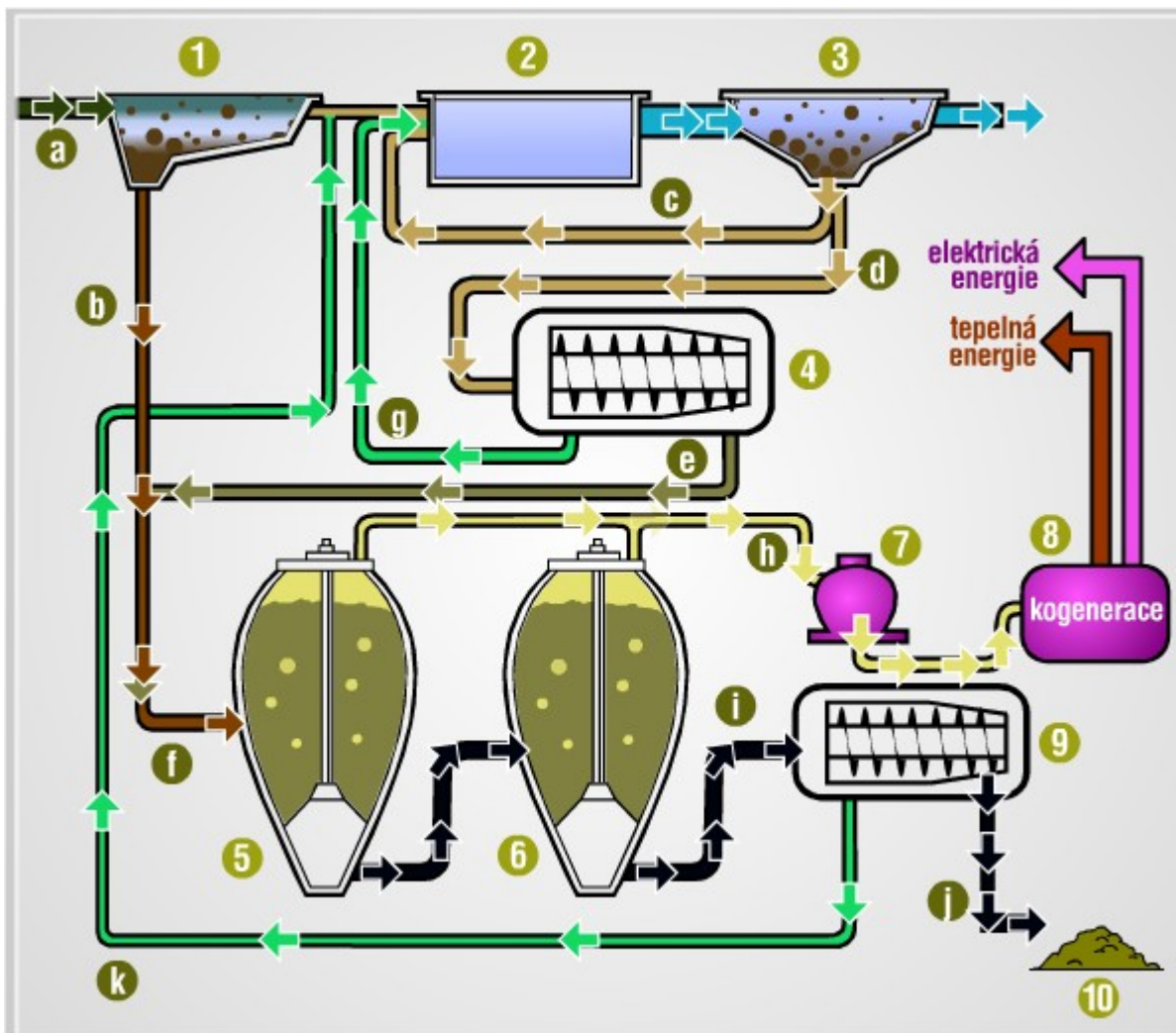
Substrát	Druh organismu
H <sub>2</sub>	<i>Methanobacterium bryantii, formicicum, thermoautotrophicum</i> <i>Methanobrevibacter arboriphilus, ruminantium, smithii</i> <i>Methanococcus mazei, vanniellii, voltae</i> <i>Methanomicrobiom mobile</i> <i>Methanogenium cariaci, marisnigri</i> <i>Methanospirillum hungatei</i> <i>Methanosarcina barkeri</i>
HCOOH	<i>M. formicicum, ruminantium, smithii, vanniellii, voltae, mobile, cariaci, marisnigri, hungatei</i>
CO	<i>M. barkeri, thermoautotrophicum</i>
CH <sub>3</sub> OH	<i>M. mazei, barkeri</i>
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	<i>M. mazei, barkeri</i>
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> – N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	<i>M. barkeri</i>
CH <sub>3</sub> COOH	<i>M. mazei, barkeri, Methanotherix soehngenii</i>

### 3.2. Anaerobní čistírenské technologie

Stabilizace kalů v anaerobních reaktorech, anaerobní čištění odpadních vod, jsou více než sto let zdokonalovány. Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující hospodárný provoz zařízení zpracovávajících kal, využívajících anaerobní digesce je koncentrace zpracovávaného kalu. Z toho důvodu je především kal před vstupem do reaktoru zahušťován za pomoci gravitačního zahušťování – strojně (např. zahušťovací odstředivky, sedimentační nádrže apod.). Zahušťování kalu způsobí zvýšení intenzity procesu anaerobní digesce. Se zahušťováním souvisí další z významných intenzifikačních kroků – dezintegrace buněk aktivovaného kalu. Buněčný lyzát, který je při dezintegraci buněk vypouštěn, působí jako katalyzátor anaerobní digesce. [1]

**Lyzační zahušťovací odstředivka** – slouží k dezintegraci buněk v přebytečném aktivovaném kalu, čili k narušení buněčných stěn a membrán. Zvýší se tím účinnost anaerobní digesce. Po této dezintegraci z buňky vyteče buněčný lyzát, který slouží jako katalyzátor anaerobní methanové fermentace. Buněčný lyzát je uvolněný obsah buněk mikroorganismů následkem dezintegrace. Proces probíhá přirozenou cestou (autolýzou) u všech odumřelých buněk, nebo pomocí hydrolytických enzymů. Přítomnost buněčného lyzátu způsobuje stimulaci anaerobní fermentace. Zvýší se tím rychlost procesu, prohloubení rozkladu OL a tomu odpovídající zvýšení produkce bioplynu. Zároveň klesne produkce stabilizovaného kalu, čímž se sníží náklady na jeho likvidaci. [11]

Obrázek č. 6: Schéma s lyzační odstředivkou. [11]



1. primární sedimentace
2. aktivace
3. dosazování
4. zahušťování s lyzační odstředivkou



5. anaerobní stabilizace 1. stupně
6. anaerobní stabilizace 2. stupně
7. akumulace a čištění bioplynu
8. využití bioplynu
9. odvodňování
10. likvidace odvodněného kalu.
  - a. přítok
  - b. primární kal
  - c. vratný kal
  - d. přebytečný aktivovaný kal
  - e. zahuštěný přebytečný kal
  - f. surový směsný kal
  - g. fugát se zahušťování
  - h. bioplyn
  - i. anaerobně stabilizovaný kal
  - j. odvodněný kal
  - k. fugát z odvodňování [11]

Jelikož neexistuje univerzální metoda, nakládání s odpadními kaly se dělí na dva způsoby:

- zpracování surového kalu (SSK). Surový kal je směs aktivovaného přebytečného kalu a primárního kalu. Aktivovaný kal je nebezpečným odpadem.
- Zpracování vyhnílého kalu (VK) vznikajícího při anaerobní stabilizaci surového kalu. VK je nebezpečný když je hygienicky závadný. Tuto závadnost lze eliminovat např. termofilně. [1]

### 3.3. Druhy anaerobní digesce podle teploty provádějící děj

Anaerobní digesce lze provádět při různých teplotních podmínkách. Podle teploty se proces anaerobní digesce dělí na mezofilní (kolem 35°C), nebo termofilní (kolem 55°C). Teplota, při jaké proces probíhá, neovlivní produkci bioplynu. Termofilně se proces provádí v případě, že je zapotřebí dosáhnout bezpečnější hygienizace. [4]

Celkový čistý výnos energie je však vyšší u použití mezofilních podmínek, jelikož k dosažení termofilních je zapotřebí použít více energie k zahřátí bioreaktoru. [1] Dále mohou být teploty v psychofilním rozmezí čili do 20°C.

Mezofilní stabilizaci se kal hygienizuje pouze částečně. Dosahuje pak třídy II. (B), kal po termofilní anaerobní stabilizaci odpovídá třídě I. (A). Kal po termofilní stabilizaci je možno aplikovat přímo na půdu jako hnojivo. Po mezofilní stabilizaci by se měl kal ještě hygienizovat například kompostováním, nebo i jiným aerobním stabilizováním.

Po aerobní stabilizaci je vhodné kal upravit ještě termicky. Pro menší ČOV je vhodná aerobní stabilizace, chemická stabilizace vápnem, nebo odvoz odvodněného kalu ke zpracování na jinou lokalitu (ke kompostování, anaerobní stabilizaci, spalování apod.) [1]

### **3.3.1. Mezofilní anaerobní stabilizace**

Je to proces stabilizace kalů, probíhající při již zmiňované teplotě okolo 35°C. Průměrná doba zdržení při tomto procesu je asi 15 dní. Obvykle se jedná o dvoustupňový proces. První stupeň je míchaný a vyhříváný. Odebírá se produkovaný bioplyn. Druhý stupeň není třeba zahřívat ani nemusí být bioreaktor zakrytý. Ačkoli produkovaný kal je většinou dostatečně stabilizovaný, požadované snížení množství patogenních mikroorganismů tato metoda nedosahuje. [1]

### **3.3.2. Termofilní anaerobní stabilizace**

Je to proces stabilizace kalů, který probíhající při již zmiňované teplotě okolo 55°C. Obvykle se jedná o dvoustupňový proces. První stupeň je vždy míchaný a vyhříváný. Opět se odebírá produkovaný bioplyn. Druhý stupeň doporučujeme rovněž míchaný a uzavřený na rozdíl od mezofilní stabilizace, opět s odběrem bioplynu. Při termofilní anaerobní stabilizaci je dosahováno hlubšího stupně rozkladu OL a vyšší produkce bioplynu v porovnání s mezofilní anaerobní stabilizací. Hlavním hygienizačním parametrem je působení teploty po dobu zdržení v reaktoru. Efekt hygienizace snižuje zkratové proudění v reaktoru, pokud je mu zabráněno, výstupní kal dosahuje požadované hygienické parametry. [1]

Termofilní proces má jako vysoce intenzivní proces odpovídající nároky na udržování optimálních podmínek, hlavně teplotních. Další důležitou podmínkou dobré funkce a stability termofilního procesu je aktivní a dobře adaptovaná termofilní kultura. Zpracování anaerobní biomasy mezofilní musí probíhat postupně a dostatečně dlouhou dobu. [1]

Zvýšený hygienizační účinek, který je předností termofilní anaerobní stabilizace, spočívá nejen ve zvýšené teplotě, ale také ve vysoké hydrolytické aktivitě termofilních kultur bakterií. Zvýšení teploty způsobuje také snížení viskozity reakční směsi, což vede

k nižším energetickým nárokům na míchání a zlepšuje následnou separovatelnost tuhých částic, což má za následek snížení množství používaných flokulantů při odvodňování.

[1]

Převedení procesu anaerobní digesce s mezofilních na termofilní podmínky je jednou z možností, jak intenzifikovat kalové hospodářství a zvýšit jeho kapacitu. Zároveň by se odstranily přetížené reaktory. Termofilní anaerobní stabilizace kalů, patří mezi progresivní technologie zpracování kalů. [1]

Při anaerobní stabilizaci dochází k významným změnám v mikrobiálním společenství kalu. Dochází k různému stupni destrukce přítomných mikroorganismů, a tím i patogenů. Stupeň destrukce závisí na technologických podmínkách. Mezi nejdůležitější patří teplota a doba zdržení. Hygienizační účinek vzrůstá s teplotou a dobou zdržení. Čím vyšší je odstranění organických látek v průběhu procesu, tím vyšší je hygienizační efekt. [1]

Při hygienizaci je zapotřebí dodržet požadované parametry doby zdržení a homogenity nádrží a to v prvním i druhém stupni stabilizace. Tato doba zdržení a homogenita je vypočítávána s koncentrací a typu kalu. Míchání prvního a druhého stupně musí minimalizovat vznik zkratových proudů uvnitř nádrží, přívod a odběr kalu z druhého stupně stabilizačních nádrží provádět pouze jednou denně, aby byla zajištěna požadovaná doba 24 hodin pro dosažení hygienizačního účinku procesu. [1]

## **4. Vstupní materiály**

### **4.1. Zdroje biomasy**

#### **4.1.1. Zemědělství**

- Odpady ze živočišné výroby – z důvodů zpřísňujících se předpisů je stále obtížnější využívat exkrementy hospodářských zvířat k rostlinné výrobě jako hnojivo.
- Zbytky z rostlinné výroby, pro něž není další uplatnění, nebo cíleně pěstovaná nepotravinářská produkce
- Travní fytohmota ze zatrávněné půdy, která musí být pravidelně odstraňována. [2]

#### **4.1.2. Komunální sféra**

Asi 40% komunálního odpadu tvoří biologický odpad. V komunální sféře jsou také odpady z údržby zeleně a kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) bez vlastního kalového hospodářství. [2]

#### **4.1.3. Průmysl, zejména potravinářský**

Odpady lze zpracovat např. jako krmiva nebo hnojiva, ale mohou obsahovat nebezpečné látky znamenající riziko pro následné uplatnění substrátu jako hnojiva. Pro BPS znamenají možný budoucí zdroj příjmů (poplatky za zpracování odpadu). [2]

#### **4.1.4. Stravovací zařízení**

Zpracování kuchyňských odpadů včetně obsahu kuchyňských lapolů a použitých fritovacích olejů. [2]

### **4.2. Vlastnosti vstupních materiálů**

Téměř každý organický materiál, který má vysoký obsah těkavých látek a obsah sušiny menší než 50% může být teoreticky využit pro anaerobní digesci. Pro efektivní zpracování je však zapotřebí, aby vlastnosti použitých materiálů byly v určitém optimálním rozmezí a také poměru. [2]

- Podíl organické hmoty minimálně 60%
- Sušina 7 – 25%
- Poměr C : N 20 – 30 : 1
- pH 6,5 – 7,5 [2]

Je velice důležité hlídání obsahu či přítomnosti toxických a inhibujících látek, které by mohly zásadně narušit proces anaerobní digesce ve fermentoru. Jsou to např. bakteriální léčiva (bakteriocidy, antibiotika apod.), látky v hnilobném rozkladu, nebo např. amoniak ve velkém množství. Těžké kovy nenarušují proces anaerobní digesce příliš, ale zabírají cenné místo zbytečně a negativně ovlivňují kvalitu zplyňovaného materiálu. Ostatní vlastnosti je možné ovlivnit úpravou materiálu před vstupem do BPS, popř. složením vsázky při společné fermentaci (kofermentaci) různých druhů organických látek. Například přidáním travní fytomasy k prasečí kejdě (prasečí kejda

má vysoký obsah dusíkatých látek a málo sušiny, travní hmota naopak). Tak lze optimalizovat poměr uhlíkatých a dusíkatých látek (C : N) i obsah sušiny. [4]

## 4.3. Odpadní kaly z ČOV

### 4.3.1. Vznik odpadních kalů

Při aerobním biologickém čištění vznikají dva různé druhy kalů:

- primární kal z primárního usazování odpadní vody, která je do ČOV přiváděna
- přebytečný aktivovaný kal, vznikající po aerobním stupni ČOV

Primární kal obsahuje kromě anorganické složky i směs různých organických látek, z nichž většina je relativně snadno rozložitelná a primární kal tak díky svému složení umožňuje vyšší výtěžnost bioplynu. U přebytečného aktivovaného kalu se jedná převážně o směs mikroorganismů narostlých na rozpuštěném organickém znečištění a jejich množství závisí na množství odstraněného znečištění a také druhu aerobního čištění. [1]

### 4.3.2. Odpadní kaly a jejich zpracování

Přibližně 87% kalů produkovaných na čistírnách odpadních vod se zpracovává anaerobní stabilizací. Tato technologie je zvláště vhodná pro ČOV větší a střední velikosti a lze předpokládat, že i v budoucnu bude hlavní technologií pro stabilizaci kalů. Dominantním prvkem kalového hospodářství jsou tak anaerobní reaktory (vyhňivací nádrže), ve kterých probíhá anaerobní methanová fermentace.

Technologie anaerobní stabilizace kalů je na jednotlivých ČOV v České republice více méně stejná. Zpracováváný surový čistírenský kal (primární a přebytečný aktivovaný kal) o sušině 2 – 3% a při 65% organických látek je dávkován do vyhňivacích nádrží – fermentorů. Z důvodů zlepšení energetické bilance procesu je někdy kal před dávkováním zahušťován na obsah sušiny 4 – 6%. [1]

### 4.3.3. Kritéria pro posuzování stabilizovanosti kalů

Kritéria pro posuzování stabilizovanosti kalů můžeme rozdělit do tří skupin:

- přímé – globální (toxicita, infekčnost, zápach)

- Nepřímé – charakterizující (obsah organických látek – ztráta žíháním (ZŽ), množství odstranění organických látek, TOC, CHSK, BSK<sub>5</sub>, respirační rychlost, další produkce bioplynu, ATP, enzymové aktivity, mikrobiologie aj.)
- Doplnující – (odvodnitelnost, viskozita, kalorická hodnota apod.) [1]

Množství a kvalita organických látek v kalu je nejdůležitějším faktorem pro jeho posuzování a na něm závisí jeho fyzikální vlastnosti a chování. Všechna používaná kritéria pro charakterizaci stabilizovanosti kalu jsou do určité míry měřítkem množství a kvality (rozložitelnosti) přítomných organických látek v kalu. Rozdíl mezi jednotlivými kritérii je především v jejich vypovídající schopnosti a složitosti stanovení. Například BSK<sub>5</sub>, další produkce bioplynu a některé enzymové z mikrobiologické metody jsou poměrně časově náročné. [1]

Vypovídací schopnost jednotlivých kritérií závisí na tom, do jaké míry a s jakou přesností dané kritérium vystihuje sledovanou vlastnost. Jako příklad je možno uvést porovnání nejčastěji používaných kritérií jako jsou obsah veškerých látek (dále jen VL), obsah organických látek (VL<sub>org</sub>, ZŽ) a CHSK. Přehled základních kritérií a metod pro měření stupně stabilizovanosti kalů je uveden v tabulce č. 2. [1]

Při stanovení veškerých látek (sušiny) se vzorek kalu odpaří a suší při 105°C, při tomto procesu dochází nutně k vytěkání těkavých organických látek, které při tomto stanovení nejsou detekovány. Touto chybou jsou zatíženy všechny metody založené na sušení vzorku (VL, VL<sub>org</sub>, TOC apod.). Obsah organických látek –VL<sub>org</sub> v anaerobně stabilizovaném kalu může být dobrým indikátorem průběhu procesu anaerobní stabilizace pro danou konkrétní čistírnu odpadních vod. Jako kritérium stabilizovanosti kalu má pouze relativní vypovídací hodnotu, která silně závisí na kvalitě výchozího kalu. Vždy nutno porovnávat počáteční a konečný stav. [1]

CHSK je typickou metodou, která zachytí i těkavé organické látky. CHSK<sub>hom</sub> je měřítkem obsahu organických látek v kalu a současně je měřítkem oxidačního stupně uhlíkového atomu. Výhodou tohoto kritéria je, že zachytí všechny oxidovatelné organické látky, tedy i těkavé, které se při stanovení VL a VL<sub>org</sub> nezachytí. Samotná CHSK<sub>hom</sub> má jako kritérium stabilizovanosti pouze relativní vypovídací schopnost.

Na stupeň stabilizovanosti můžeme usuzovat z jeho změny (snížení na jednotku VL v průběhu procesu stabilizace). [1]

**Tabulka č. 2: Přehled metod pro měření stupně stabilizovanosti kalů [1]**

<b>Základní kritéria</b>	<b>Metoda měření</b>
Intenzita zápachu	→ měření intenzity zápachu zředovací čichovou metodou → plynová chromatografie
Ztráta žíháním	→ podíl organických látek v celkové sušině kalu vyjádřený v % → podíl založených organických látek vyjádřený jako % celkového obsahu organických látek
Zbytkové snadno rozložitelné organické látky	→ BSK <sub>5</sub> filtrátu (kapalně fáze) → rychlost přírůstku CHSK kapalně fáze během sledování → rychlost spotřeby kyslíku → rychlost produkce plynu (methanu) v průběhu anaerobní kultivace
Chemické složení	→ koncentrace mastných kyselin v kapalně fázi → pH a jeho změny v průběhu sledování → měření tvorby H <sub>2</sub> S během skladování → koncentrace dusičnanů
Biologická aktivita	→ koncentrace ATP → dehydrogenázová aktivita → koncentrace koenzymu F <sub>420</sub> → rychlost produkce bioplynu
Mikrobiologická analýza	→ stanovení obsahu patogenních mikroorganismů → stanovení jednotlivých skupin mikroorganismů
Přítomnost hnilobných látek	→ atraktivnost pro mouchu domácí

#### 4.3.4. Metody hygienizace kalů

Obecně lze k hygienizaci kalů použít všech metod, při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. Základní hygienizační metody je možno rozdělit do tří skupin:

- chemické metody – zahrnují reakce s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny)
- fyzikální metody – zahrnují působení teploty, radiace, ultrazvuk apod.
- biotechnologické metody – zahrnují souběžný proces stabilizace a hygienizace kalů.

V praxi se dosahuje hygienizačního účinku v technologické lince zpracování kalů. Podle zařazení hygienizační metody do technologické linky zpracování kalů se hygienizační metody dělí na:

- metody před procesem stabilizace
- metody tvořící součást procesu stabilizace
- metody pro stabilizaci – přídavná, následná hygienizace

Volba metody hygienizace kalů je závislá na technologii stabilizace kalů a velikosti ČOV. S výhodou lze používat metody, kdy hygienizační efekt je součástí procesu stabilizace kalů. Pro menší čistírny se doporučuje autotermní termofilní stabilizace kalů, resp. dodatečná úprava kalů vápnem. Chemickou hygienizaci je vhodné použít jako koncovou část kalového hospodářství, což je výhodné při doplnění stávající technologie v případě, že kal nesplňuje mikrobiologická kritéria kvality kalu. Termické procesy se především z ekonomických důvodů používají na velkých čistírnách. Hygienizace kalů jako součást procesu stabilizace kalů lze s výhodou použít při rekonstrukci kalového hospodářství ČOV. [1]

## 5. Produkty anaerobní digesce

Konečným produktem anaerobní digesce je vyhnílý kal s obsahem zbylých, nerozložených organických látek (dále jen OL), anorganický podíl a kalová voda. Pro další využití se musí kal odvodnit na co nejvyšší obsah sušiny. Z uvedené závislosti odvodňování vyplývá, že intenzifikace anaerobních procesů má za cíl dosáhnout co nejvyšší transformace organických látek do bioplynu a tak snížit na minimum obsah OL ve vyhníle kalu. [1]



V případě, že je obsah OL v kalu 70%, ve 100 kg surového kalu je 70 kg OL a 30 kg anorganických látek. Při anaerobní stabilizaci se transformuje do bioplynu cca 50% z původního obsahu. Je to tedy 35 kg OL. Ve vyhnilém kalu pak zůstává 35 kg OL a 30 kg anorganických látek. Obsah OL ve vyhnilém kalu je pak 53 %. [1]

## 5.1. Bioplyn

### 5.1.1. Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost bioplynu významně ovlivňuje obsah methanu. Ten závisí hlavně na složení vsázky. Z tabulky č. 3 je patrné, že výhřevnost bioplynu významně ovlivňuje pouze obsah methanu ( $\text{CH}_4$ ), který závisí především na složení vsázky a technologických parametrech bioplynové stanice. Problémovou složkou bioplynu je naopak sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ), jenž je při spalování příčinou tvorby kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), která při kondenzaci ze spalín způsobuje korozi. Proto se musí sulfan při vyšší koncentraci z bioplynu odstraňovat. K tomu účelu se nejčastěji používá chemická adsorpce  $\text{H}_2\text{S}$  do pevné látky ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), nebo biologická metoda využívající sírných bakterií, které v aerobním prostředí oxidují  $\text{H}_2\text{S}$  na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH. [2]

**Tabulka č. 3: Vlastnosti bioplynu [2]**

Charakteristika	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	Bioplyn
Objemový podíl (%)	55 – 70	27 – 47	1	3	100
Výhřevnost ( $\text{MJ.m}^{-3}$ )	35,8		10,8	22,8	21,5
Zápalná teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )	650 – 750		585		650 – 750
Hustota ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

### 5.1.2. Způsoby využití bioplynu

- Přímé spalování a ohřev teplotnosného média
- Výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média – kogenerace
- Výroba elektrické energie, tepla, chladu – trigenerace

- Palivo pro pohon energetických mobilních prostředků
- Neenergetické využití – chemická výroba sekundárních produktů z BP [2]

### **Kogenerace**

Nejrozšířenější způsob využití BP. Vyrábí se teplo a elektrická energie, přičemž elektrické energie je asi 1/3 a 2/3 tepelné. Jedná se tedy o kombinovanou výrobu energie. Část tepla se využívá k vytápění fermentoru, část se využívá k tepelné úpravě hygienicky závadných vstupních materiálů. V kogenerační jednotce je spalovací motor poháněný BP. [2]

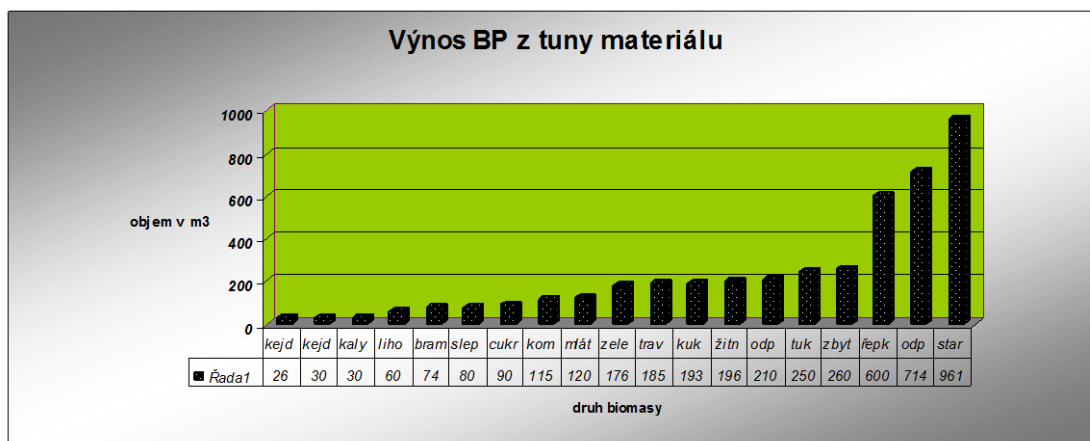
### **Trigenerace**

Trigenerace je perspektivní metoda způsobu využití BP. Kogenerační jednotka je při trigeneraci vybavená adsorpčním tepelným konventorem, který vyrábí chlad. BP musí být odsířen a zbaven mechanických nečistot aby mohl být využit pro pohon mobilních energetických prostředků. Dále musí být energeticky zhodnocen tak, aby byl obsah methanu 90% a výše. [2]

### **5.1.3. Množství energie z BP**

Z původního množství BP lze vyrobit asi 1/3 elektrické energie. Zbylé 2/3 jsou v podobě energie tepelné. Z 1 t komunálního bioodpadu lze získat 100 m<sup>3</sup> bioplynu obsahujícího 65% methanu. Kogeneračním zpracováním methanu je možno získat z 1 t bioodpadu 198 kWh elektrické energie a 348 kWh tepla. Vlastní spotřeba energie zařízení na 1 t bioplynu je 48 kWh elektrické energie hlavně na míchání, čerpání, odvodňování a 48 kWh tepla na ohřev fermentoru. Zpracováním 1 tuny bioodpadu lze prodat nebo využít 150 kWh elektrické energie a 300 kWh tepla. 1/3 tepla uteče v podobě tepelných ztrát. Zařízení jsou budována s roční kapacitou zpracování 5 – 30 tis. t bioodpadu. [2]

Do budoucna se zdokonalí proces výroby biomethanu. Z BP se vyextrahuje pouze methan, čili okolo 65% obsahu, čím se minimalizuje objem, a v případě, že se bude biomethan vyvážet, ušetří se na dopravě. Druhou výhodou je, že biomethan má v sobě více energie než BP. [6]



**Obrázek č. 7: Graf výnosu BP z tuny materiálu [9]**

Z grafu lze vyčíst, že nejnižší výnos bioplynu mají kaly z ČOV a kejda skotu a prasat. Výnos dosahuje hodnot do  $30 \text{ m}^3 / \text{t}$  biomasy. Lihovinové výpalky, bramborové slupky, slepičí hnůj a cukrovarová řepa pak mají výnos bioplynu do  $100 \text{ m}^3 / \text{t}$  biomasy. Komunální bioodpad, mláto, zelená řezanka, siláže travní, kukuřičná a žitná mají výnos bioplynu do  $200 \text{ m}^3 / \text{t}$  biomasy. Odpad z jatek, tuk z odlučovače tuku, zbytky jídel mají výnos bioplynu do  $200 \text{ m}^3 / \text{t}$  biomasy. Řepkové pochutiny, odpad z pekáren a starý tuk mají výnosy bioplynu nejvyšších hodnot a to do  $600 \text{ m}^3 / \text{t}$  biomasy.

#### 5.1.4. Odsíření bioplynu

Obsah sulfanu v BP, ve vyšších koncentracích, by mohl znamenat riziko pro další využívání BP. Proto se BP odsiřuje. Využívá se metoda suchého odsiřování. Provádí se adsorpcí s chemickou reakcí ve vrstvě odsiřovací hmoty. Výsledným produktem je čistá síra, která je zachycena na sorbentu. Při provozu technologického zařízení nedochází k úniku škodlivých emisí. Adsorpce i regenerace probíhají ve vrstvě odsiřovací hmoty současně. Kyslík potřebný k regeneraci se dodává do čištěného bioplynu ve formě přídavného vzduchu. Teoreticky by obě reakce mohly probíhat nekonečně dlouho. Ve skutečnosti však regenerací uvolněná elementární síra postupně obaluje částice odsiřovací hmoty. Tím dochází k postupnému zhoršování podmínek a snižování účinnosti odsiřování. Po poklesu pod určitou hodnotu je proto potřeba nasycenou odsiřovací hmotu nahradit čerstvou hmotou. Pro zajištění plynulého a kvalitního odsiřování bioplynu a pro zvýšení kapacity odsiřovací hmoty se nabízí použití dvojice odsiřovacích jednotek v sérii, tj. za sebou. Jedna odsiřovací jednotka funguje jako pracovní a druhá dočišťovací. [1]

Odsiřovací jednotky se v pořadí pracovní a dočišťovací cyklicky střídají, když koncentrace sulfanu v odsířeném bioplynu z dočišťovací jednotky překročí stanovenou hodnotu, pracovní jednotka se odstaví a vymění se v ní odsiřovací hmota. Pořadí jednotek se při tom změní. Dočišťovací je pracovní a pracovní je. [1]

Koncentrace sulfanu se měří pomocí indikačního papírku. Nasycená hmota se považuje za odpad a musí být odstraněna spálením či uložením na skládku. Odsiřovací zařízení může být připojeno na potrubí z vyhnívací nádrže do plynojemu. Může být ale i na potrubí vedoucí z plynojemu. Zařízení se umísťuje venku. Předností prvního řešení je ochrana plynojemu, kotlů a komínů před korozí způsobenou účinky sulfanů. [1]

## **5.2. Biologicky stabilizovaný substrát**

Vlastnosti substrátu závisí především na druhu zpracovávaných materiálů, méně už na technologickém procesu. [2]

### **5.2.1. Využití substrátu**

Využití substrátu je rozděleno na využití přímou nebo nepřímou metodou.

#### **Přímá aplikace substrátu:**

Je to nejjednodušší způsob využití stabilizovaného substrátu s vysokým hnojícím účinkem. Substrát se doveze na zemědělskou půdu, kde se přímo aplikuje. V porovnání s přímou aplikací surového materiálu (např. prasečí kejdy) má substrát anaerobně fermentovaný spoustu výhod:

- Substrát je homogenizovaný a biologicky stabilizovaný
- Má zvýšenou využitelnost živin a sníženou vyplavitelnost
- Dále má snížený obsah patogenů, semen plevelů a zápachu
- Pokles emisí skleníkových plynů.“ [2]

#### **Nepřímé způsoby využití substrátu:**

Další z možností, jak využít stabilizovaný substrát, je odseparovat tuhou složku od tekuté pomocí lisování v kalosisu, sedimentací či odstředováním. Takováto tuhá frakce s vysokým obsahem organické hmoty je vhodná k aerobní stabilizaci, jako je

například kompostování. Vznikne tak kvalitní statkové hnojivo. Je možno tuhou frakci též ještě více slisovat a udělat z ní brikety sloužící jako biopalivo.

Prodej kompostu či biopaliva vzniklého v předešlém odstavci musí pokrýt náklady na nutnou transformaci biozplyňovaného substrátu. Tekutá frakce, která zbyla a má vyšší obsah živin, může být aplikována na pole jako hnojivo. Jestliže pro ni není místo, lze ji aerobně upravit jako odpadní vodu a dočistit. Takto upravená voda, aerobně stabilizovaná, může být vypuštěna do vodoteče. Dočišťovat vodu takto je však ekonomicky nevýhodné. [2]

## 6. Využití anaerobní digesce v praxi

### 6.1. Bioplynová stanice (BPS)

V roce 1989 hrozilo uzavření velkochovů užitkových zvířat z důvodů neúnosné produkce výkalů. Původně se kejda vozila na pole nebo se kompostovala. Nezabránilo se tím však zápachu. Z polí se uvolňovaly emise čpavku a jiných skleníkových plynů. Od roku 1990, kdy EIA schválila BPS jako stavení neškodící životnímu prostředí. Byla vydána miliarda na výstavbu BPS. Dnes jich je asi 300 po ČR a Slovensku. Optimální množství BPS by bylo 700. První BPS postavená v roce 1990 v ČR u Klimkovic, byla zkonstruována na objem 250 m<sup>3</sup> kejdy. Měla výkon 600 kW, 4 motory v kogenerační jednotce. Model této BPS pocházel z Holandska, kde museli problém s nadměrným množstvím kejdy řešit již dříve. V Holandsku je dodnes obrovské množství užitkových zvířat, hlavně prasata a krávy. Model pocházející z Holandska, přepočítali Rakušané a z původních 250 m<sup>3</sup>, udělali 5000 m<sup>3</sup> objemu.

BPS je stavení, složené z různých částí, ve kterých probíhají jednotlivé etapy zpracování biomasy. Těmito částmi jsou například homogenizační jednotka, fermentor, kogenerační jednotka apod. Staví se u podniků, ve kterých vzniká velké množství biomasy vhodné k anaerobní digesti. Jsou to kravíny, prasečárny apod.

Pořizovací cena BPS je zhruba 50 000 000 Kč, návratnost této investice je do 10 ti let. Výkon takovéto BPS je asi 500 KWh elektrické energie. [6]

### 6.1.1. Homogenizační jednotka

V této části bioplynové stanice se svezené suroviny homogenizují, v některých případech se rozmělnují, aby je bylo možné efektivněji přetransformovat. Míchají se zde suroviny, aby byly v ideálním poměru vhodném pro anaerobní digesci. [6]



Obrázek č. 8: Homogenizační jednotka

### 6.1.2. Pasterizace

Některé materiály se musí pasterizovat. Například krev, která se do BPS vozí z jatek, nebo jiný materiál vyžadující vyšší stupeň hygienizace. Podle zákona se musí takový materiál pasterizovat alespoň po dobu 1 hodiny při teplotě 70°C. Pasterizační jednotka viz obrázek č. 7. [6]



Obrázek č. 9: Pasterizační jednotka

### 6.1.3. Fermentor

Vyhnívací nádrž, bioreaktor a fermentor jsou synonyma. Vyhnívací nádrže jsou ve většině případů železobetonové, obsah nádrží je promícháván obvykle pneumaticky bioplynem nebo hydraulicky. Kal je v nádrži udržován při teplotě 38°C, cirkulací přes externí výměník tepla. [1]



Obrázek č. 10: Fermentor

### 6.1.4. Kogenerační jednotka

V kogenerační jednotce se bioplyn transformuje na teplo a elektrickou energii. Spalovací motor, poháněný bioplynem pohání generátor elektrické energie. Teplo s chladicího média se také využívá například k vytápění fermentoru. [2] Kogenerační jednotky často bývají instalovány minimálně dvě, aby v případě výpadku jedné z nich fungovaly alespoň ty ostatní a mohly tak zásobovat tepelnou energií fermentor. Do kogenerační jednotky je BP přiváděn pomocí potrubí se žlutou barvou, popřípadě touto barvou musí být označen začátek, konec či podpěry potrubí. [6]



Obrázek č. 11: Kogenerační jednotka

- **Výhody BPS**

- Výrazné snížení skládkování, čímž se také zvýší životnost skládek.
- BPS jsou nízké stavby, které téměř vůbec nenarušují krajinný ráz a nevyžadují speciální podmínky jako je dostatek sluneční, větrné, či vodní energie.
- Lze na tuto transformaci využít i zbytků jídel s obsahem masa, nebo potravin s prošlou spotřební lhůtou. [7, 8]

- **Nevýhody BPS:**

- Biomasa se svází z různých míst a tím se spotřebuje nafta, která by vyrobila možná stejné množství energie, ale nesouviselo by to s odstraněním odpadu.
- BPS může zapáchat a to nejen bioreaktor, ale i dovážené suroviny.
- auta vozící suroviny do BPS mohou být i silně znečištěna, například při svozu surovin ze zemědělství, a znečišťují cesty.
- BP může nechtěně uniknout do ovzduší, což se považuje za ekologickou havárii a musí se hlásit na MŽP.

- **Řešení nevýhod:**

- Větší množství BPS, třeba menších rozměrů. Ušetřila by se tím energie ke svozu.
- Nabídnout lidem v okolí, kam by mohl zápach dosahovat, levnější energii, nebo i zdarma. [7, 8]

### **6.1.5. Vstupní materiály, které využívá BPS ve Velkých Albrechticích**

Tato BPS patří do jedné ze dvou skupin a to AF2, to znamená, že může zpracovávat kejdu a ostatní organické odpady, na rozdíl od AF1, kde lze zpracovávat pouze cíleně pěstovanou biomasu. Materiál musí být organického původu a nesmí obsahovat lignin. Ten nelze rozložit anaerobní digescí. Je to například sláma, dřevní vlákna a jiná vláknina.

- Suroviny z pivovaru – například zbytky s obilí, z výroby methylesteru. Pivovar platí BPS peníze za likvidaci odpadu.
- Odpad z výroby řepkového oleje – slupky apod. Za tento odpad platí BPS, protože materiál je energeticky výhodný.



- Odpad z mlékáren – hlavně z oplachů strojů na výrobu másla, jogurtů apod. Dodavatel je Olma a mlékárna Kunín
- Palírny – pokud je palírna schopná oddělit pecky, může dodat zbytky z kvasu do BPS. Pecky jsou tvořené ligninem, nerozložily by se a zaplnily by ve fermentoru cenné místo zbytečně.
- Hamé – paštiky, konzervy, džemy apod. Většinou jde o oplachy strojů s obsahem těchto surovin. Oplachy se zahušťují za použití flokulantů, koagulantů a až pak se dovezou do BPS
- Celuloska Paskov – dřevní hmota. Do BPS je dodáván dřevní prach ve formě kalu. Celuloska využívá jen dřevních vláken s obsahem ligninu. V dřevním prachu už lignin není.
- Prošlé potraviny – zelenina, ovoce, bagety apod.
- Krev z jatek – musí se pasterizovat po dobu 1 hodiny a teplotě minimálně 70°C.
- Tráva – nesmí být suchá. Ideální tráva pochází z fotbalových hřišť.[6]

## 6.2. Výroba piva

Ječmen se v optimálních podmínkách pro klíčení nechá asi 6 dní, poté se suší, aby se semena úplně nevyčerpala klíčením. Ze semen v takovémto stádiu se připraví mladina vařením (mlad). Mlad se ponechá asi 10 dní v tzv. kvasném tanku (viz obrázek č. 10 Pivovarský fermentor o objemu 5000 hl, čili 1000 000 piv), při teplotě 12°C. Uvnitř probíhá anaerobní digesce ve formě kvašení. Děj uskutečňují kulturní pivovarské kvasinky, které si například v Nošovickém pivovaru, nebo v pivovaru Břežňák kultivují sami v laboratoři. Na 100 l mladiny se dávkuje 0,5 l pivovarských kvasnic. Po deseti dnech se obsah kvasného tanku přečerpá do nižších pater pivovaru, do ležáckých tanků, kde pivo dokvašuje. Doba dokvašování záleží na značce a druhu piva. Např. Radegast 10° dokvašuje 3 týdny, ležáky asi 6 týdnů a speciály i několik měsíců. Takto uležené pivo se filtruje, odfiltrovaný materiál prochází kalolisem, koláče z kalolisu snědí hospodářská zvířata. Může se pít i pivo nefiltrované, tzv. kvasnicové pivo, které ovšem nemá dlouhou trvanlivost. Takové pivo se nepasterizuje. Ostatní piva musí projít pasterizací a to po dobu 1 hodiny a teplotě minimálně 70°C. Přidá se chmel, aby pivo dostalo svou specifickou hořkost. Poté se pivo stáčí do lahví, plechovek a beček. Bečky mají tvar válce, aby byly pevné. Kdyby měly rohy, bečky by byly křehké. [7]



**Obrázek č. 12: Kvasné tanky pivovaru Radegast v Nošovicích**

## 7. Závěr

Anaerobní digesce je proces, při němž se biotransformují různé druhy biomasy na bioplyn a digestát. Aby proces mohl proběhnout úspěšně, musí pracovat anaerobní mikroorganismy. Proces probíhá ve fermentoru, který je uzavřen tak, aby do něj nepronikal kyslík. Spousta lidí žije v domněnku, že mikroorganismy jsou zdraví či životu škodlivé a neuvědomují si, že bez mikroorganismů by nemohl život existovat. Mikroorganismy stojí na počátku potravního řetězce, vývoje života a jsou nepostradatelné pro umožnění ekologicky významných přírodních koloběhů.

Lidskou činností je produkováno obrovské množství bioodpadu, který skončí na skládce komunálního odpadu, místo aby se energeticky využil pomocí anaerobní digesce. Všechny odpady je třeba třídit, aby byl zajištěn trvale udržitelný rozvoj Země. A to nejen plast, papír apod., ale také bioodpad. Zemi musíme předat našim potomkům v původním stavu a nechceme přeci, aby museli žít na odpadcích od předešlých generací. Využívání anaerobní digesce nám k tomu může z části pomoci.

Je také dobré uvědomit si, že nebýt možnosti anaerobní stabilizace kejdy z velkochovů, musely by se velkochovy dobytka zavřít, nebo rapidně omezit jejich kapacity. Hrozilo by nekonečné zhoršování se ovzduší a obsahu skleníkových plynů v něm.

## Literatura

- [1] Barbora Lyčková, Petr Fečko, Radmila Kučerová: *Zpracování kalů*, Ostrava 2009, ISBN 978 – 80 – 248 – 1921 – 1
- [2] Miluše Hlavatá: *Odpadové hospodářství*, Ostrava 2004 ISBN 80 – 248 – 0737 – 8
- [3] STRAKA F. a kol. autorů: *Bioplyn*, GAS s. r. o., Říčany 2003, ISBN 80 – 7328 – 029 – 9
- [4] SLEJŠKA, Antonín: Váňa, Jaroslav: *Možnosti využití BRKO prostřednictvím kompostování a anaerobní digesce..* Biom.cz 26.1.2004
- [5] Peter Fečko, Mária Kušnierová, Vladimír Čáblík, Iva Pečtová: *Environmentální biotechnologie*, Ostrava 2004, ISBN 80-248-0700-9
- [6] Exkurze ve Velkých Albrechticích, v BPS u velkochovu prasat
- [7] Exkurze v pivovaru Radegast v Nošovicích
- [8]<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/bioplynove-stanice-nazory-se-lisi>  
[citováno 20.4.2012]
- [9][http://www.google.cz/imgres?q=graf+v%C3%BDnosu+bioplynu&um=1&hl=cs&sa=N&biw=1024&bih=499&tbn=isch&tbnid=a7eGAdeu61TQTM:&imgrefurl=http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyteznost-bioplynu-z-jednotlivych-materialu&docid=5L8r9NO-o3G-hM&imgurl=http://biom.cz/aa/img.php%253Fsrc%253D/upload/9dde8a86bc39c815ad93f4e52cbe3ebf/bioplyn\\_desatero\\_graf\\_2.jpg%2526w%253D300&w=300&h=340&ei=LjKZT\\_SZJtCa-wb17KTVBg&zoom=1&iact=hc&vpx=103&vpy=149&dur=3900&hovh=239&hovw=211&tx=114&ty=151&sig=115150068930262513087&page=1&tbnh=146&tbnw=129&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:4,s:0,i:75](http://www.google.cz/imgres?q=graf+v%C3%BDnosu+bioplynu&um=1&hl=cs&sa=N&biw=1024&bih=499&tbn=isch&tbnid=a7eGAdeu61TQTM:&imgrefurl=http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyteznost-bioplynu-z-jednotlivych-materialu&docid=5L8r9NO-o3G-hM&imgurl=http://biom.cz/aa/img.php%253Fsrc%253D/upload/9dde8a86bc39c815ad93f4e52cbe3ebf/bioplyn_desatero_graf_2.jpg%2526w%253D300&w=300&h=340&ei=LjKZT_SZJtCa-wb17KTVBg&zoom=1&iact=hc&vpx=103&vpy=149&dur=3900&hovh=239&hovw=211&tx=114&ty=151&sig=115150068930262513087&page=1&tbnh=146&tbnw=129&start=0&ndsp=8&ved=1t:429,r:4,s:0,i:75)[citováno 19.4.2012]
- [10]<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>  
[citováno 24.4.2012]
- [11]<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/postupy.html> [citováno 25.4.2012]

## Seznam obrázků

1. Hepatitida A [http://az-nemoci.blogger.cz/\\_/NEBEZPECNE-NEMOCI-OD-A-DO-](http://az-nemoci.blogger.cz/_/NEBEZPECNE-NEMOCI-OD-A-DO-)
2. Salmonella [http://www.odec.ca/projects/2005/qiuc5c0/public\\_html/UntitledFrameset-4.html](http://www.odec.ca/projects/2005/qiuc5c0/public_html/UntitledFrameset-4.html)
3. E. Coli <http://foodspeople.com/e-coli-bacteria-and-how-to-handle/>
4. Protozoa [http://micromagus.net/microscopes/pondlife\\_protozoa02.html](http://micromagus.net/microscopes/pondlife_protozoa02.html)
5. Hlístice [http://salvej-divotvorna.info/www/steinernema\\_feltiae\\_proti\\_smutnicim.php](http://salvej-divotvorna.info/www/steinernema_feltiae_proti_smutnicim.php)
6. Schéma s lyzační odstředivkou
7. Graf výnosu bioplynu
8. Homogenizační jednotka
9. Pasterizační jednotka
10. Fermentor
11. Kogenerační jednotka
12. Kvasné tanky pivovaru Radegast v Nošovicích

Obrázky č. 8, 9, 10, 11 a 12 jsem pořídila osobně na exkurzi dne 4. 4. 2012. Jednalo se o BPS Velké Albrechtice a pivovar Radegast v Nošovicích

## Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Specifické substráty methanogenních bakterií	str. 9
Tabulka č. 2: Přehled metod pro měření stupně stabilizovanosti kalů	str. 17
Tabulka č. 3: Vlastnosti bioplynu	str. 19